

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ СЛИВНОЙ СТРУЖКИ

Л. М. СЕДОКОВ

(Представлено проф. докт. техн. наук А. М. Розенбергом)

При обработке сталей и других вязких металлов обычно образуется сливная стружка, которая указывает на то, что процесс резания идет равномерно, без скачков, спокойно, а это обстоятельство позволяет подробно изучить процесс образования такого вида стружки и, следовательно, выявить важные закономерности процесса резания металлов.

Изучение процесса образования сливной стружки прежде всего должно состоять из анализа перемещений различных частиц снимаемого слоя в процессе пластической деформации, происходящей при обработке металлов резанием.

Однако вопросы перемещений частиц металла в процессе резания, т. е. кинематика процесса стружкообразования, до сих пор разработаны только частично.

Между тем, анализ перемещений различных точек снимаемого слоя, подвергающегося пластической деформации, мог бы в значительной мере способствовать успеху при исследовании сложных вопросов теории резания и предостерег бы отдельных исследователей от грубых ошибок.

В настоящей статье на основе известных и установившихся положений теории резания излагается кинематический анализ процесса образования сливной стружки.

Наша задача облегчается тем, что еще Тиме [1] вывел соотношение перемещений резца в направлении скорости резания и перемещений частиц металла в плоскости сдвигов, а также тем, что один из главных вопросов кинематики стружкообразования — вывод выражения для определения величины относительного сдвига — исследователями дается на основе этого соотношения [3, 4, 5, 6 и 8].

Отправным пунктом для решения вопросов кинематики процесса стружкообразования, на наш взгляд, должно быть следующее положение.

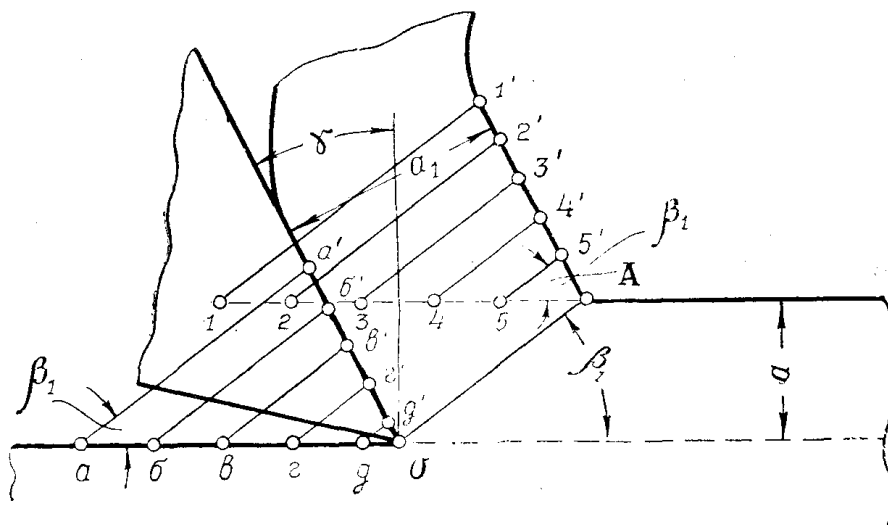
Если процесс резания есть процесс пластической деформации сдвига, то все перемещения в процессе резания должны происходить путем сдвигов в плоскости, характеризуемой углом β_1 . Следовательно, направление перемещения каждой частицы снимаемого слоя в данном процессе резания определяется углом β_1 . Величина же перемещения определяется степенью пластической деформации, т. е. также углом β_1 , но в сочетании с передним углом режущего инструмента γ .

Поэтому, зная усадку стружки и передний угол инструмента, можно определить направление и величину перемещения любой частицы снимаемого слоя.

Путь, проходимый каждой точкой срезаемого слоя, и его составные части

Представим обычную картину процесса образования сливной стружки по Тиме—Зворыкину (фиг. 1). При снятии слоя металла толщиной a обра-

зуется стружка, имеющая толщину a_1 . Все точки, лежавшие до деформации на внешней стороне снимаемого слоя, т. е. на обрабатываемой поверхности (точки 1, 2, 3, 4 и 5 на фиг. 1), перемещаясь под углом β_1 к направлению движения резца, в результате деформации окажутся на наружной (внешней) стороне стружки, заняв положение 1', 2', 3', 4' и 5' на фиг. 1.



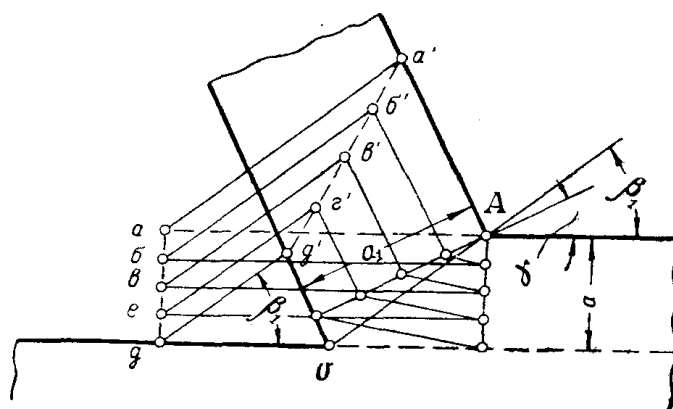
Фиг. 1

Точки a , b , v , z и d , лежавшие на внутренней стороне снимаемого слоя, т. е. на глубине a от обрабатываемой поверхности, также в результате пластической деформации, перемещаясь под углом β_1 , окажутся на внутренней, надрезцовой стороне стружки, заняв положение a' , b' , v' , z' и d' на фиг. 1.

Точка a займет положение a' за период перемещения резца на расстояние a от O . Точка b переносится в положение b' за период движения резца от b к O и т. д.

Так обстоит дело с перемещением точек, лежащих на внешней и внутренней стороне срезаемого слоя.

На фиг. 2 показано перемещение точек a , b , v , z и d , расположенных на различном расстоянии от внешней стороны снимаемого при реза-



Фиг. 2

нии слоя. Перемещение двух точек a и d может быть легко найдено, так как точка a' должна находиться на наружной, а d' —на внутренней, надрезцовой стороне стружки.

Положение точек b , v и z может быть найдено путем определения соответствующей каждой точке расстояния от внешней стороны стружки, которое будет пропорционально расстоянию соответствующей точки от внешней стороны снимаемого слоя до деформации.

На фиг. 2 дано соответствующее гарфическое построение. Точки b' , v' и z' находятся как пересечение прямых, параллельных передней грани и проведенных на соответствующем расстоянии от внешней стороны стружки, с линиями, проходящими из соответствующих точек срезаемого слоя (до деформации) под углом β_1 к направлению скорости резания. Положение точек b' , v' и z' может быть найдено проще: поскольку точки b , v и z до деформации лежали на одной прямой $a-d$, то и после одинаковой величины пластической деформации они должны расположиться на одной прямой $a'-d'$. Следовательно, точки b' , v' и z' могут быть определены от пересечения прямых, проведенных из соответствующих точек срезаемого слоя под углом β_1 , с прямой, соединяющей точку a' с точкой d' .

При таком кинематическом анализе мы делаем целый ряд допущений:

1. Все сдвиги происходят по прямой OA , и уширения стружки нет.
2. Степень пластической деформации по всей толщине снимаемого слоя остается одинаковой.
3. Надрезцовая сторона стружки все еще имеет контакт с передней гранью резца, которая на всем протяжении контакта имеет один и тот же передний угол. Нароста нет.
4. Так называемого обратотекущего надрезцового слоя в стружке [3] нет.

Предлагаемый в настоящей работе кинематический анализ строится на основе схемы стружкообразования по Тиме—Зворыкину, которую следует считать приближенной. В действительности сдвиги происходят не по линии OA , а в более или менее значительной зоне пластической деформации [4]. Однако большая часть пластических сдвигов при резании происходит где-то вблизи линии OA [5]. Поэтому с известным допущением, не делая больших ошибок, можно считать, что сдвиги происходят в некоторой узкой полосе—зоне пластической деформации, которую для кинематического анализа можно принять за линию OA .

Степень пластической деформации по всей толщине снимаемого слоя можно считать одинаковой, поскольку исследователи не обнаружили заметной разницы в твердости по толщине стружки, а твердость является надежным показателем степени пластической деформации.

Безусловно, предлагаемый кинематический анализ относится к работе на высоких скоростях резания, исключающих наростообразование.

Так называемый обратотекущий слой всегда имеет место, но толщина его при работе с обычными подачами ($a = 0,1$ мм на оборот и более) сравнительно мала и его влиянием без сколько-нибудь существенных ошибок можно пренебречь.

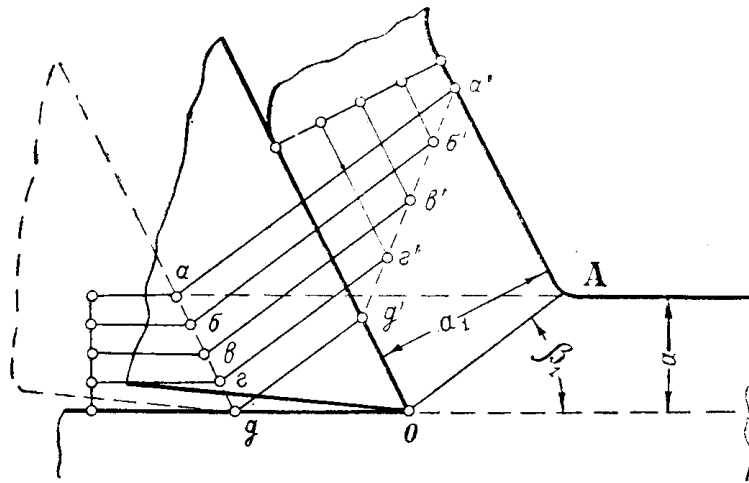
Тем не менее, следует отметить, что все последующие выводы по кинематическому анализу процесса образования сливной стружки будут правильными только с учетом указанных выше допущений.

Последующие выводы можно будет распространить и на режимы резания, характеризуемые наростообразованием, если принять в расчет не передний угол резца, а передний угол, образованный наростом. Поскольку нарост все время появляется и исчезает, меняя также и свою геометрию, кинематические расчеты в этом случае будут носить весьма приближенный характер.

Продолжая кинематический анализ, рассмотрим случай, когда частицы металла до деформации были расположены на различном расстоянии от

внешней стороны снимаемого слоя и в то же время лежат на одной линии, параллельной передней грани (фиг. 3).

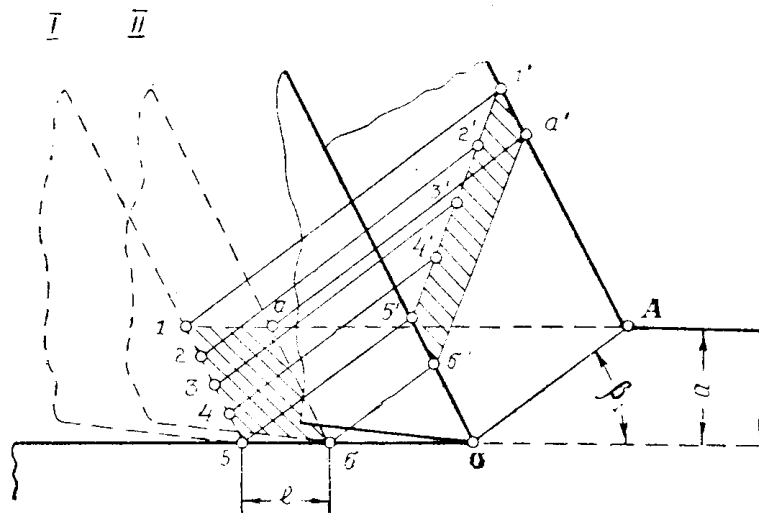
Точки $a, б, в, г$ и $д$ срезаемого слоя после деформации в стружке займут положение $a', б', в', г'$ и $д'$.



Фиг. 3

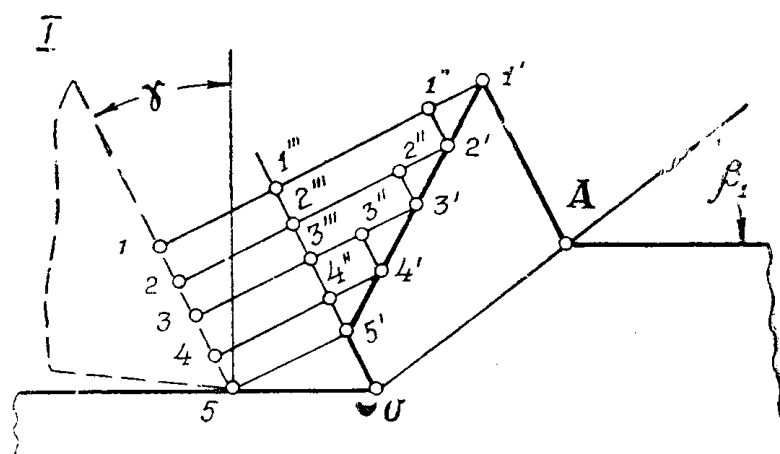
Этот случай для кинематического анализа является наиболее интересным, так как перемещению частиц металла из точек $a, б, в, г$ и $д$ в положение $a', б', в', г'$ и $д'$ будет соответствовать одно и то же перемещение резца, равное расстоянию $д O$.

Если за период между двумя моментами резания резец прошел расстояние l (фиг. 4), то снятый за это время объем металла $1-a-b-5$ займет в стружке положение $1'-a'-б'-5'$, а точки 1, 2, 3, 4 и 5, пройдя разное по величине расстояние, соответственно положение $1', 2', 3', 4'$ и $5'$.

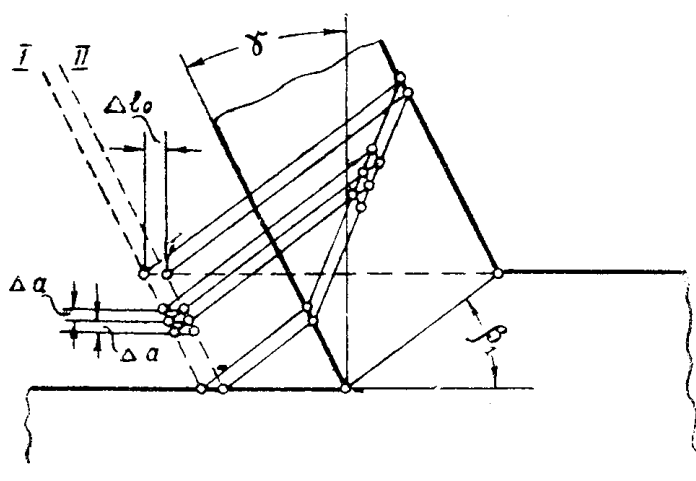


Фиг. 4

Для изучения процесса резания металлов, как процесса пластической деформации важно знать величину составных частей перемещения различных частиц металла в период резания.



Фиг. 5



Фиг. 6

Для этого возьмем два весьма близких момента резания, характеризующихся положением резца I и II (фиг. 6). Путь, проходимый резцом за период его перемещения из положения I в положение II, обозначим через Δl_0 . Выберем два элементарных слоя, расположенных где-то в середине толщины снимаемого слоя, и рассмотрим величину и составные части перемещений частиц, расположенных на поверхности этих элементарных слоев.

Путь, проходимый каждой точкой снимаемого слоя в процессе резания, можно разбить на три составные части.

1. l_{cd} — путь, проходимый частицей металла за счет пластической деформации той элементарной части снимаемого слоя, которая заключена между двумя ближайшими рассматриваемыми частицами (1—2; 2—3; 3—4 и 4—5).

Обращаясь к фиг. 5, можно написать

$$l_{cd}^1 = 1' - 1'',$$

$$l_{cd}^2 = 2' - 2'',$$

$$l_{cd}^3 = 3' - 3'',$$

$$l_{cd}^4 = 4' - 4''.$$

Точка 5 за счет пластической деформации не перемещается, так как для нее элементарный слой равен нулю:

$$l_{cd}^5 = 0.$$

Величина l_{cd} в данной стружке зависит только от толщины элементарного слоя.

2. l_{nn} — путь простого перемещения данной частицы металла за счет пластической деформации всей оставшейся части снимаемого слоя, расположенной ниже рассматриваемой элементарной части его.

Обращаясь к фиг. 5, можно написать

$$l_{nn}^1 = 1'' - 1''',$$

$$l_{nn}^2 = 2'' - 2''',$$

$$l_{nn}^3 = 3'' - 3''',$$

Полное перемещение точки 4 будет состоять только из пути, проходимого этой точкой за счет пластической деформации нижележащего слоя (l_{cd}) и пути, соответствующего дальнейшему перемещению всей стружки (l_{dn}). Следовательно, простое перемещение для точки 4 равно нулю.

Простое перемещение для точки 5 также будет равно нулю, так как ниже точки 5 металла, превращаемого в стружку, нет.

3. l_{dn} — путь, соответствующий дальнейшему перемещению резца, когда его движение не оказывает влияния на взаимное расположение частиц металла в стружке и когда все частицы перемещаются вдоль передней грани резца с одинаковой скоростью, равной скорости схода стружки

$$l_{dn}^1 = 1 - 1''', \quad l_{dn}^2 = 2 - 2''',$$

$$l_{dn}^3 = 3 - 3''', \quad l_{dn}^4 = 4 - 4''',$$

$$l_{dn}^5 = 5 - 5',$$

$$l_{dn}^1 = l_{dn}^2 = l_{dn}^3 = l_{dn}^4 = l_{dn}^5.$$

Общее перемещение каждой точки в направлении, характеризуемом углом β_1 , который определяется по усадке стружки

$$l_{ob} = l_{cd} + l_{nn} + l_{dn}.$$

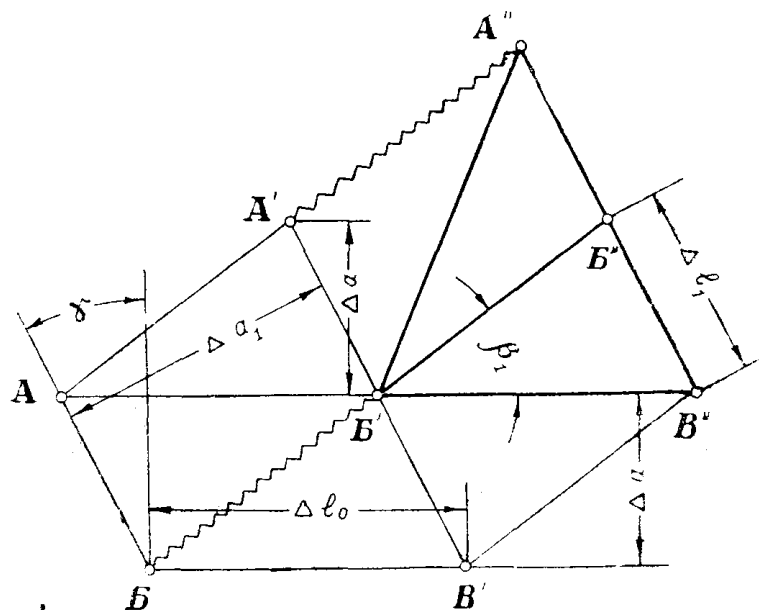
Точка *Б* (фиг. 7), расположенная на контакте двух элементарных слоев металла, в результате пластической деформации нижнего слоя переместится в положение *Б'*. Такое перемещение точки *Б* вызывает простое перемещение всего верхнего элементарного слоя, а следовательно, точка *А* займет положение *А'* только за счет деформации, происшедшей в нижнем слое. Но верхний слой также должен претерпеть пластическую деформацию. Поэтому точка *А'* в результате пластической деформации верхнего слоя займет положение *А''*. В действительном процессе резания первым будет деформироваться верхний слой, а затем нижний, но это несколько не изменит наших рассуждений

$$l_{cd}^B = l_{cd}^A,$$

$$l_{ob}^B = l_{ob}^A,$$

$$l_{ob}^A = l_{cd}^A + l_{nn}^A = l_{cd}^A + l_{cd}^B.$$

Нетрудно заметить, что $A''B'' = B''B''' = A'B' = \Delta l_1$, где Δl_1 — перемещение стружки за период деформации одного элементарного слоя металла.



Фиг. 7

Двойной треугольник перемещений

В этом треугольнике $B' B''$ равно перемещению резца Δl_0 , $B' B''$ — перемещению сдвига Δl_{cd} и $B'' B''' = A'' B''$ — перемещению стружки вдоль передней грани Δl_1 за период перемещения резца на величину Δl_0 .

Двойной косоугольный треугольник, отражающий кинематику процесса образования сливной стружки, позволяет вывести аналитическую связь между различными характеристиками процесса пластической деформации при резании металлов.

Нетрудно убедиться, что перпендикуляр, опущенный из точки B'' на направление скорости резания, будет представлять собою толщину элементарного слоя до деформации Δa , а перпендикуляр, опущенный из точки B' на переднюю грань (к линии $A''B''B'''$) будет толщиной элементарного слоя после деформации.

Угол β_1 , определяющий плоскость сдвига, в нашем случае $B' B''$, может быть найден по соотношению

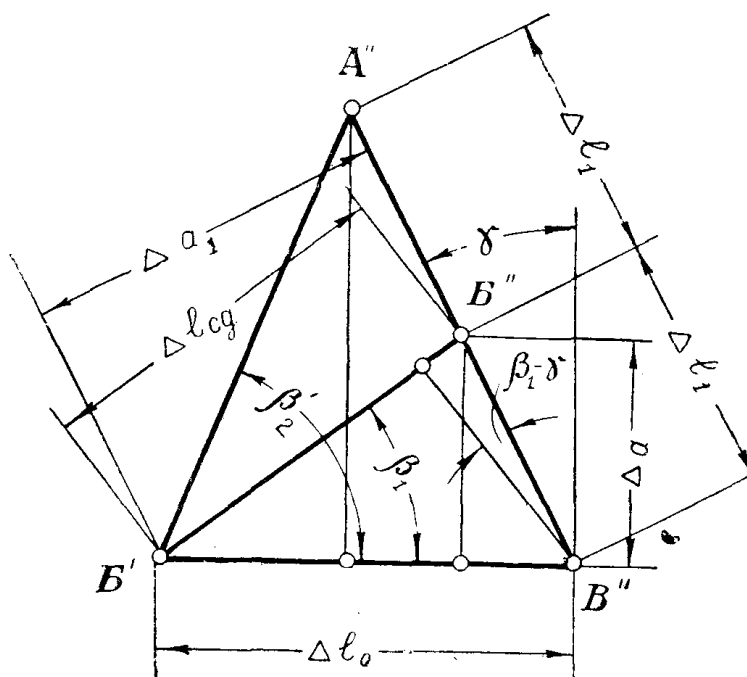
$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\Delta l_1 \cos \gamma}{\Delta l_0 - \Delta l_1 \sin \gamma} = \frac{\cos \gamma}{\frac{\Delta l_0}{\Delta l_1} - \sin \gamma}.$$

Учитывая, что отношение длины пути резца к соответствующей длине пути стружки равно усадке ζ , получим

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\cos \gamma}{\xi - \sin \gamma}. \quad (1)$$

Аналогичным образом может быть найдена и величина угла β'_2 , определяющего геометрическое место точек в стружке, которые до деформации находились на одной линии, параллельной передней грани резца

$$\operatorname{tg} \beta'_2 = \frac{2 \cos \gamma}{\zeta - 2 \sin \gamma}. \quad (2)$$



Фиг. 8

Из двойного косоугольного треугольника перемещений могут быть определены все соотношения и характеристики процесса стружкообразования.

Величина пути сдвига при деформации слоя толщиной Δa

$$\Delta l_{cd} = \frac{\Delta a}{\sin \beta_1}.$$

Откуда отношение величины сдвига к толщине снимаемого слоя

$$\frac{\Delta l_{c\partial}}{\Delta a} = \frac{1}{\sin \beta_1}. \quad (3)$$

Величина пути резца, необходимая для полной деформации слоя

$$\Delta l_0 = \Delta a \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\cos \gamma \sin \beta_1}.$$

Откуда отношение пути резца, необходимого для полной деформации слоя, к толщине этого слоя

$$\frac{\Delta l_0}{\Delta a} = \frac{\cos(\beta_1 - \gamma)}{\cos \gamma \sin \beta_1}. \quad (4)$$

Аналогично может быть выведено отношение длины сдвига к пути стружки для одного и того же слоя

$$\frac{\Delta l_{cd}}{\Delta l_1} = \frac{\cos \gamma}{\sin \beta_1}. \quad (5)$$

Отношение длины сдвига к длине пути резца, необходимого для полной деформации слоя и, следовательно, для осуществления этого сдвига

$$\frac{\Delta l_{cd}}{\Delta l_0} = \frac{\cos \gamma}{\cos (\beta_1 - \gamma)}. \quad (6)$$

Толщина элементарного слоя после деформации может быть определена так:

$$\Delta a_1 = \Delta a \frac{\cos (\beta_1 - \gamma)}{\sin \beta_1},$$

$$\Delta a_1 = \Delta l_{cd} \cos (\beta_1 - \gamma).$$

Откуда отношение толщины слоя после деформации к толщине этого слоя до деформации (усадка)

$$\zeta = \frac{\Delta a_1}{\Delta a} = \frac{\cos (\beta_1 - \gamma)}{\sin \beta_1} \quad (7)$$

и отношение пути сдвига к толщине слоя после деформации

$$\frac{\Delta l_{cd}}{\Delta a_1} = \frac{1}{\cos (\beta_1 - \gamma)}. \quad (8)$$

Величина относительного сдвига представляет собой отношение величины перемещения к высоте сдвигаемого слоя.

Поскольку считается, что все сдвиги происходят в плоскости, характеризуемой углом β_1 , ниже которой сдвигов нет, то неподвижным основанием в момент сдвига элементарного слоя следует считать плоскость OA .

Высотой сдвигаемого слоя, следовательно, надо считать величину перпендикуляра, опущенного из точки B'' на линию сдвигов $B'B''$. Численно высота слоя будет равна

$$\Delta l_1 \cos (\beta_1 - \gamma) = \Delta a \frac{\cos (\beta_1 - \gamma)}{\cos \gamma}.$$

Тогда величина относительного сдвига

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{cd}}{\Delta l_1 \cos (\beta_1 - \gamma)}, \quad (9)$$

но

$$\Delta l_{cd} = \Delta l_1 \cos (\beta_1 - \gamma) [\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{tg} (\beta_1 - \gamma)].$$

Подставляя значение для Δl_{cd} , окончательно получим

$$\varepsilon = \operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{tg} (\beta_1 - \gamma). \quad (10)$$

Пользуясь установленной связью между усадкой и углами β_1 и γ , можно величину относительного сдвига выразить через усадку и передний угол

$$\varepsilon = \frac{\zeta^2 - 2\zeta \sin \gamma + 1}{\zeta \cos \gamma}. \quad (11)$$

Далее, учитывая, что

$$\Delta l_{cd} = \frac{\Delta a}{\sin \beta_1}$$

и

$$\Delta l_1 = \frac{\Delta a}{\cos \gamma}$$

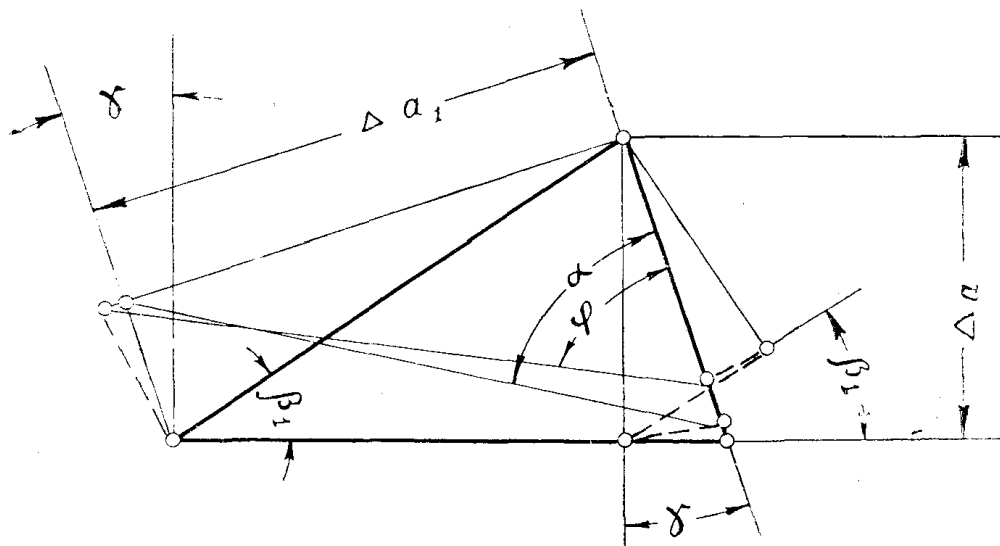
величина относительного сдвига может быть получена в следующем виде:

$$\varepsilon = \frac{\cos \gamma}{\sin \beta_1 \cos (\beta_1 - \gamma)} . \quad (12)$$

Пользуясь выведенными соотношениями, связь между относительным сдвигом и усадкой так же может быть записана в следующем виде:

$$\varepsilon = \zeta \frac{\cos \gamma}{\cos^2 (\beta_1 - \gamma)} . \quad (13)$$

Графическое сопоставление величины усадки и относительного сдвига для одной и той же стружки дано на фиг. 9, где $\operatorname{tg} \alpha = \zeta$, а $\operatorname{tg} \varphi = \varepsilon$.



Фиг. 9

Таким образом, пользуясь двойным косоугольным треугольником перемещений, можно получить аналитическое выражение для всех геометрических характеристик процесса стружкообразования, а также определить связь между ними (1—13).

Дополнительная характеристика процесса стружкообразования—угол β'_2 , определяющий геометрическое место точек в стружке, которые до деформации лежали на одной линии, параллельной передней грани режущего инструмента, на наш взгляд, позволяет более подробно представить действительную картину этого сложного процесса.

Пользуясь углом β'_2 и зная ориентацию зерен до деформации, можно определить угол текстуры в стружке. Как показали расчеты, численное значение угла β'_2 для работы резцами, имеющими сравнительно небольшой передний угол, весьма близко совпадает с величиной угла текстуры в стружке β_2 , определяемой по формулам ряда авторов. Поэтому при работе резцами, имеющими передний угол $\gamma = +15^\circ \div -10^\circ$, для опреде-

ления угла ψ между текстурой в стружке и плоскостью сдвигов наряду с формулами проф. А. М. Розенберга [6]

$$\operatorname{ctg} \psi = \varepsilon + 1$$

и Н. Н. Зорева [4]

$$\operatorname{ctg} \psi = \frac{\varepsilon}{2} + \sqrt{\frac{\varepsilon^2}{4} + 1}$$

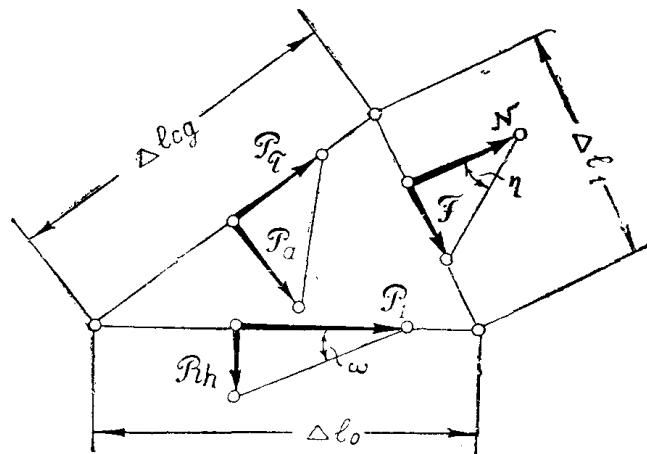
может быть предложена следующая формула, вытекающая из соотношений (2) и (10)

$$\operatorname{ctg} \psi = \varepsilon + \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma), \quad (14)$$

$$\text{где } \psi = \beta'_2 - \beta_1 \approx \beta_2 - \beta_1.$$

Новый вариант вывода теоретического уравнения А. М. Розенберга для определения силы резания

Схему действия сил на передней грани инструмента можно представить в следующем виде (фиг. 10).



Фиг. 10

По направлению скорости резания действует сила P_1 и в перпендикулярном направлении сила R_h . В плоскости сдвигов действует сила P_τ и в перпендикулярном направлении сила P_a . Вдоль передней грани действует сила трения F и в перпендикулярном направлении нормальная сила N .

При осуществлении процесса резания в течение определенного отрезка времени затрачивается работа резания

$$A_p = P_1 \Delta l_0.$$

Работа резания расходуется на работу пластической деформации и работу силы трения

$$A_\tau = P_\tau \Delta l_{c\phi},$$

$$A_F = F \Delta l_1.$$

Следовательно,

$$P_1 \Delta l_0 = P_\tau \Delta l_{c\phi} + F \Delta l_1.$$

Силы R_h , P_a и N никакой работы не совершают, так как направлены перпендикулярно соответствующим перемещениям.

Известно, что

$$P = \tau \frac{ab}{\sin \beta_1},$$

$$F = P_1 \frac{\sin \eta}{\cos \omega}.$$

Подставляя эти значения и деля на Δl_0 , получим

$$P_1 = \tau \frac{ab}{\sin \beta_1} \cdot \frac{\Delta l_{cd}}{\Delta l_0} + P_1 \frac{\sin \eta}{\cos \omega} \cdot \frac{\Delta l_1}{\Delta l_0}.$$

Учитывая (6), (7) и (12), окончательно получим

$$P_1 = \frac{\tau \varepsilon}{1 - \frac{\sin \eta}{\zeta \cos \omega}} \cdot ab. \quad (15)$$

Полученное выражение является теоретическим уравнением А. М. Розенберга для определения главной составляющей силы резания [5].

Сравнение различных режимов резания

В целях глубокого изучения процесса резания часто возникает необходимость провести сравнение одних режимов резания с другими. Но так как различные характеристики процесса стружкообразования часто далеко не совпадают с соответствующими характеристиками другого процесса, то сравнение становится невозможным.

При изменении скорости резания, например, изменится коэффициент трения, усадка стружки, относительный сдвиг, угол плоскости сдвигов. Изменение, скажем, одной только подачи приведет к изменению температуры резания, коэффициента трения, усадки и почти всех других характеристик процесса стружкообразования.

Поэтому перед сравнением различных процессов резания необходимо установить дополнительное условие сравнения.

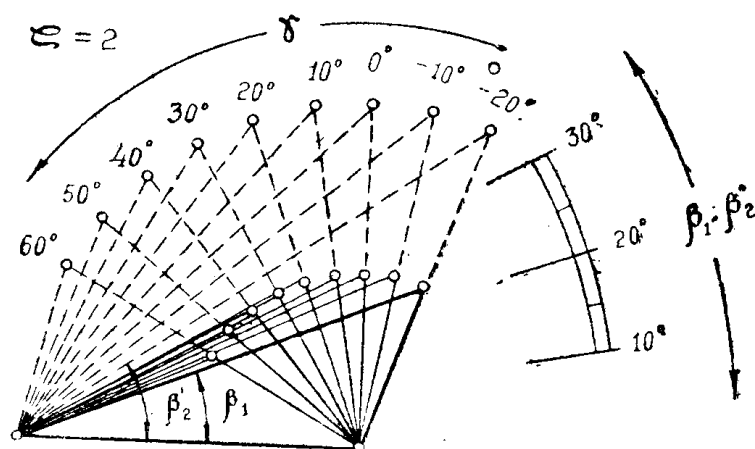
При исследовании силовых зависимостей, например, может возникнуть необходимость сравнить процессы резания, у которых величина относительного сдвига будет одной и той же.

В других случаях за основу сравнения возможно придется взять условие постоянства усадок и т. д.

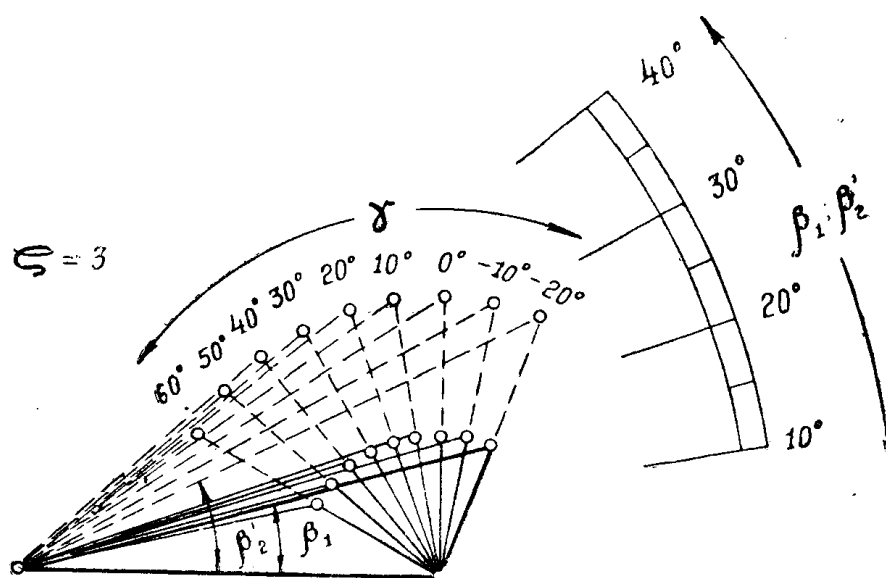
На основании кинематического анализа процесса образования сливной стружки можно построить графики, которые в значительной степени могут оказаться полезными для сравнения различных режимов резания.

На фиг. 11, 12 и 13 представлены графики, характеризующие процессы резания при условии постоянства усадки стружки, на фиг. 14 и 15 для условия постоянства угла β_1 и на фиг. 16 и 17 для условия постоянства относительного сдвига.

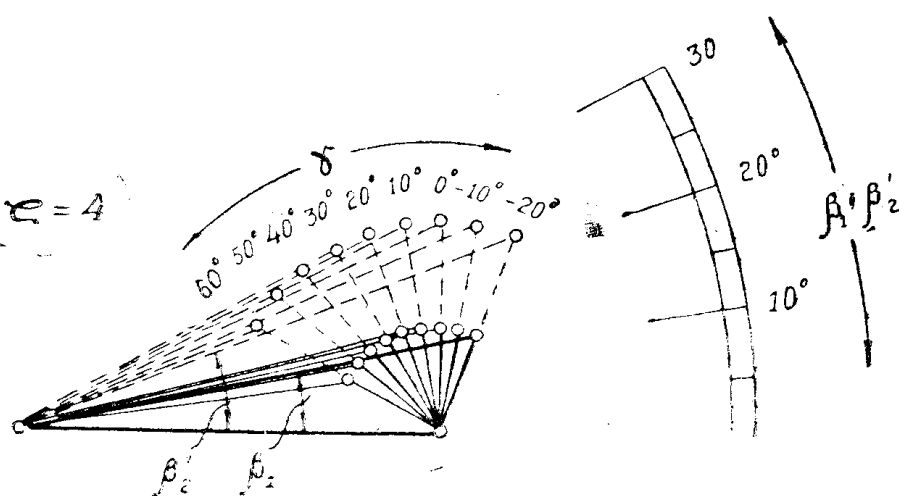
Увеличивая передний угол инструмента от -20° до $+60^\circ$ при постоянной усадке $\zeta=2$ (фиг. 11) угол, определяющий плоскость сдвигов β_1 , будет вначале несколько возрастать, а затем, достигнув примерно 30° , упадет почти до первоначальной величины в 22° . Для усадки $\zeta=3$ это колебание



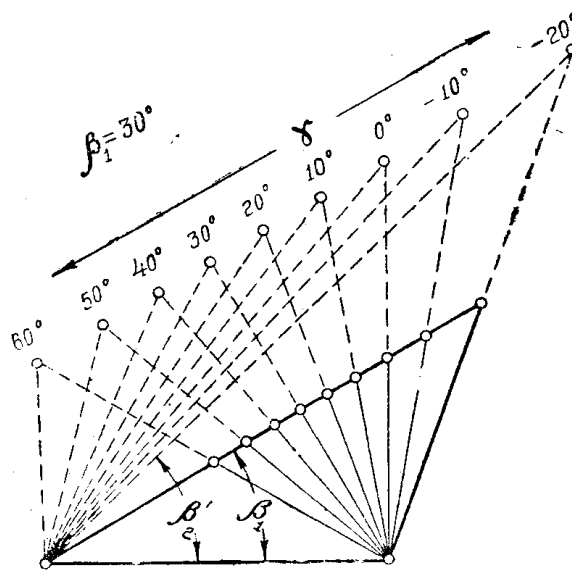
Фиг. 11



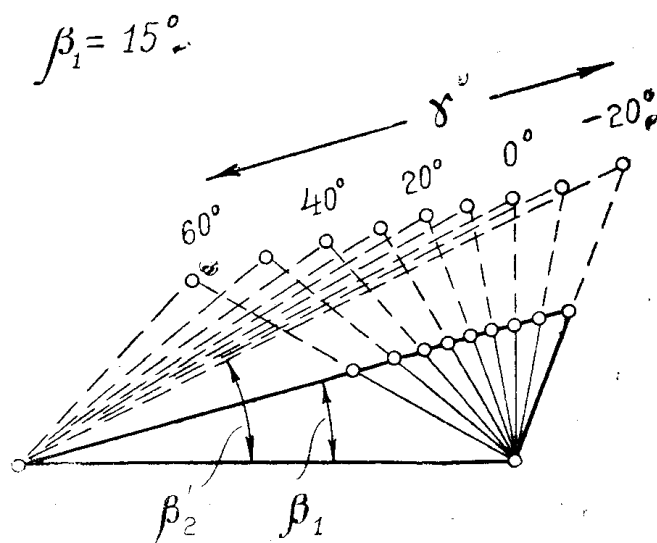
Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14

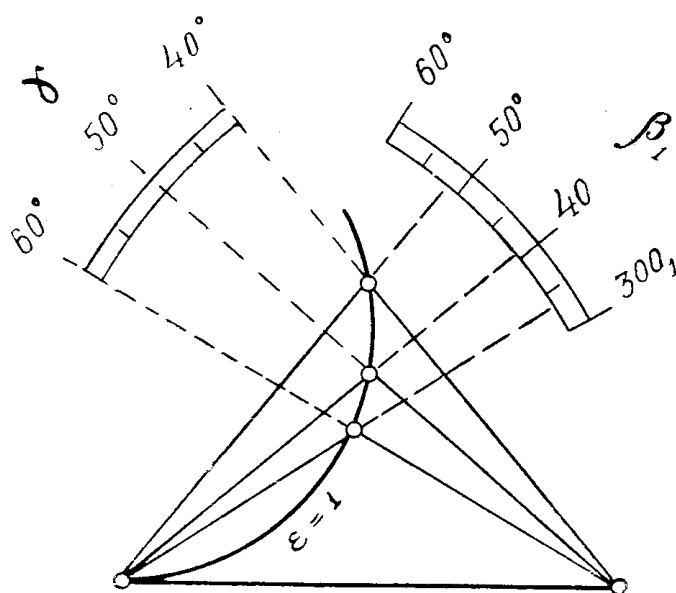


Фиг 15.

будет меньше (фиг. 12), а для $\zeta=4$ изменение переднего угла инструмента от $\gamma = -20^\circ$ до $+50^\circ$ вызовет изменение угла β_1 всего в пределах 3° (фиг. 13).

Это означает, что чем больше усадка, тем менее существенно влияние геометрии инструмента (γ) на расположение плоскости сдвига (β_1). Поэтому при наличии больших усадок можно вести сравнение скоростных режимов резания с режимами, характеризуемыми наростообразованием (γ действительный—переменный).

Угол β'_2 , определяющий геометрическое место точек в стружке, которые до деформации находились на одной линии, параллельной передней грани инструмента, для усадки $\zeta=2$ будет все время увеличиваться с увеличением переднего угла инструмента. Для $\zeta=4$ он уже с $\gamma = +20^\circ$ начнет уменьшаться.



Фиг. 16

Для больших усадок пределы изменения угла β'_2 будут значительно сужаться: для $\zeta=4$ он будет изменяться в пределах от 21° до 28° , в то время как для усадки $\zeta=2$ угол β'_2 будет увеличиваться с 34° ($\gamma = -20^\circ$) до 80° ($\gamma = 60^\circ$).

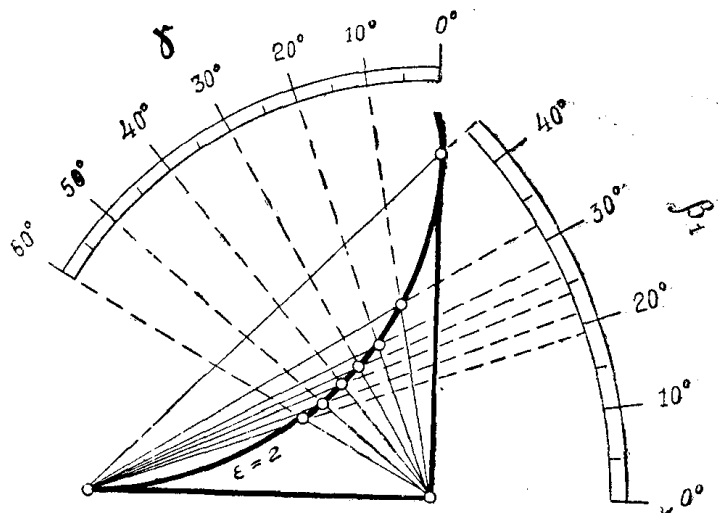
Следовательно, месторасположение частиц металла в стружке, которые до деформации находились на одной линии, параллельной передней грани инструмента, для больших усадок будет мало зависеть от величины переднего угла режущего инструмента. И, наоборот, для малых усадок этот показатель стружкообразования будет весьма чувствителен к изменению геометрии инструмента (его переднего угла).

Для режимов резания, которые дают одинаковое расположение плоскости скалывания ($\beta_1 = \text{const}$) при измерении переднего угла инструмента γ от -20 до $+60^\circ$ усадка стружки будет некоторое время возрастать, а затем начнет падать, величина относительного сдвига будет все время уменьшаться, а угол β'_2 будет все время возрастать (фиг. 14 и 15). При этом пределы изменения указанных характеристик стружкообразования будут меньше для меньших значений угла β_1 .

На фиг. 16 и 17 представлены кинематические схемы стружкообразования при условии постоянства величины относительного сдвига т. е. степени пластической деформации металла. Из графика на фиг. 16 видно, что относительный сдвиг $\varepsilon = 1$ мы можем получить только применяя инструмент, имеющий передний угол γ больше 38° . Для больших величин относительного сдвига этот диапазон расширяется в сторону малых передних углов.

Изменяя передний угол γ от 0 до 60° , при сохранении величины относительного сдвига ($\varepsilon = 2$) угол β_1 будет уменьшаться с 45° до 19° , усадка стружки будет до $\gamma = +50^\circ$ расти, а затем несколько уменьшаться.

Здесь характерным является то обстоятельство, что широкое изменение переднего угла инструмента в зоне значительных положительных передних углов (γ более 20° для $\varepsilon = 2$) не вызывает существенных изменений β_1 и ζ . И это тем более справедливо, чем больше величина относительного сдвига.



Фиг. 17

Следует объединить все эти графики в один общий график, по которому можно определять все основные геометрические характеристики процесса стружкообразования. На фиг. 18 представлен такой график. Приведем два примера пользования им.

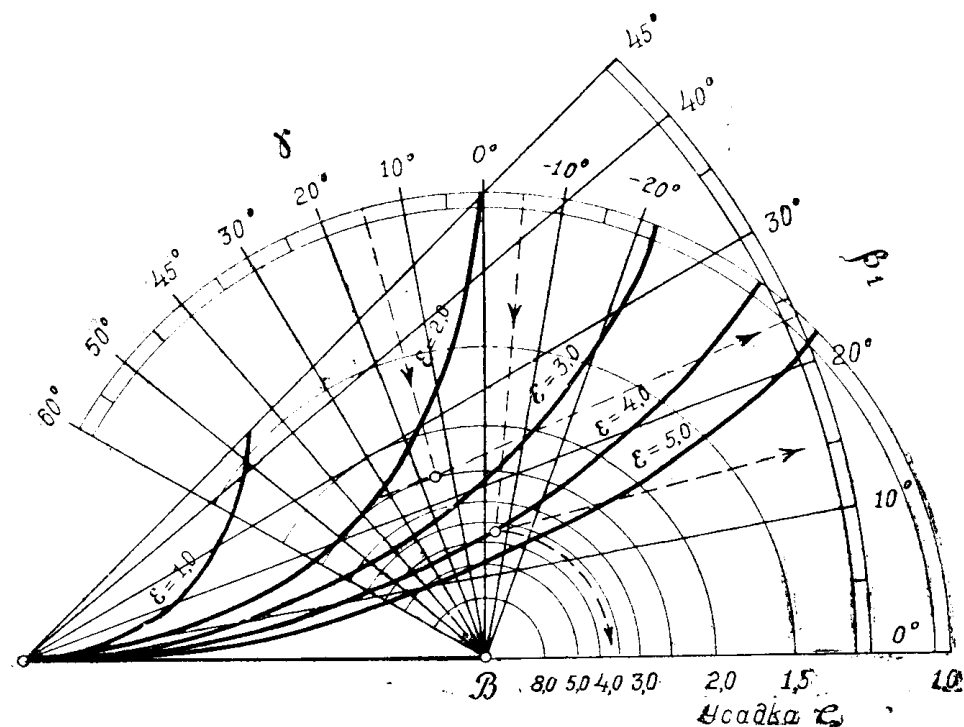
Пример 1. При работе резцом, имеющим $\gamma = 15^\circ$ на высоких скоростях резания получена усадка стружки $\zeta = 2,5$. Требуется определить угол β_1 и относительный сдвиг ε .

Проведем из точки B линию, соответствующую переднему углу $\gamma = 15^\circ$ и получим точку пересечения с окружностью постоянной усадки $\zeta = 2,5$. Через эту точку и точку O проведем прямую до шкалы угла β_1 и тем самым определим угол плоскости сдвига $\beta_1 = 23^\circ 30'$. Отрезок линии, соответствующий $\beta_1 = 23^\circ 30'$, заключенный между кривыми $\varepsilon = 2$ и $\varepsilon = 3$, точкой пересечения делится примерно поровну (немного ближе к линии $\varepsilon = 2$), следовательно $\varepsilon = 2,45$.

Пример 2. При работе резцом, имеющим передний угол $\gamma = -5^\circ$ на высоких скоростях необходимо получить относительный сдвиг $\varepsilon = 4,0$. Какова при этом будет усадка стружки и угол β_1 ?

Проводим из точки B линию, соответствующую $\gamma = -5^\circ$. Находим точку пересечения этой линии с кривой постоянного относительного сдвига $\varepsilon = 4,0$. Через точку пересечения и точку O проводим прямую линию, определяющую угол $\beta_1 = 15^\circ 30'$, и по окружности идем до шкалы усадки, по которой находим $\zeta = 3,55$.

Этот график можно использовать и для режимов резания в зоне на­ростообразования для определения действительно переднего угла (перед­него угла, создаваемого наростом) если мы смогли бы посредством микро­скопа или микрошлифа определить величину угла β_1 , тогда, зная усадку стружки и угол β_1 , по графику легко было бы найти величину действи­тельно переднего угла.



Фиг. 18

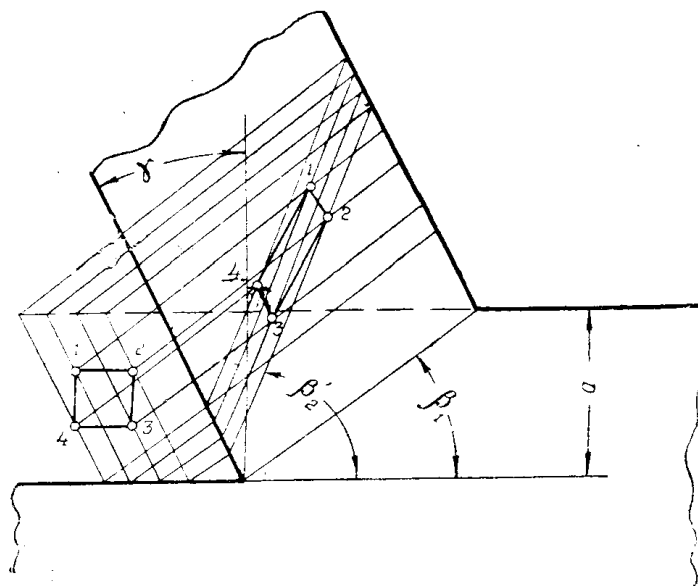
Найдя по графику соответствующие характеристики процесса струж­кообразования, мы автоматически получим принципиальную схему про­цесса стружкообразования в масштабе графика для данных конкретных условий.

Формы зерен до деформации и после деформации

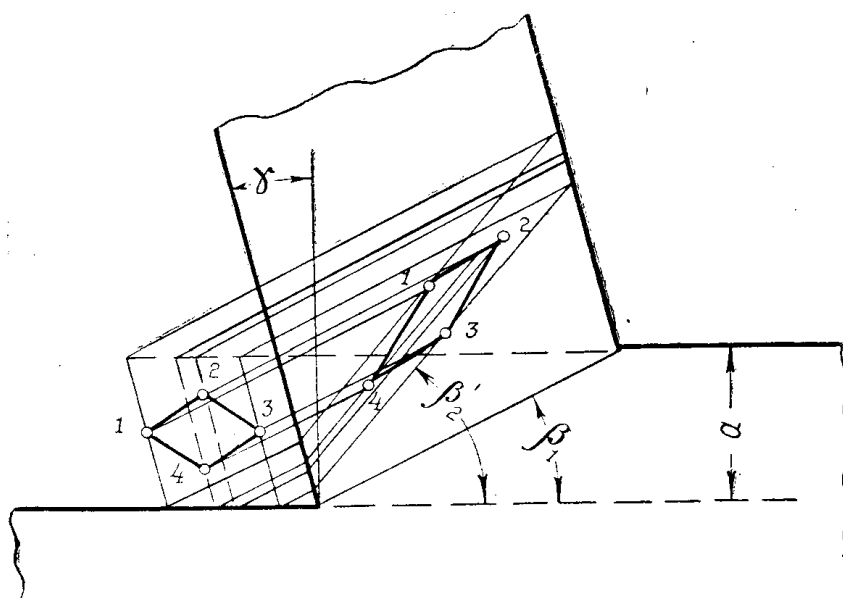
Для получения процесса резания металлов начиная с Усачева [7] широко применяется металлографический метод исследования. На микро­фотографиях корней стружек отчетливо видно изменение формы зерен в процессе пластической деформации, осуществляемой при снятии струж­ки. Сравнение форм зерен до деформации и после деформации позволяет подробно изучить процесс резания. Однако весьма часто зерна металла до деформации не имеют строго одинаковой формы, что приводит к раз­нообразию форм зерен и после деформации. А это весьма затрудняет исследование, так как мы не знаем какую форму до деформации имело данное зерно.

Пользуясь кинематическим анализом процесса стружкообразования, можно более или менее точно определить по форме зерна, находящегося в стружке, ту форму, которую оно имело до деформации, и наоборот, если известен передний угол инструмента, которым осуществлялся данный процесс резания, и усадка стружки.

На фиг. 19, 20, 21 дается графическое построение формы зерна после деформации, если до деформации зерно имело в продольном сечении (в сечении шлифа) квадрат, ромб и круг. Методика построения проста и не нуждается в пояснениях.

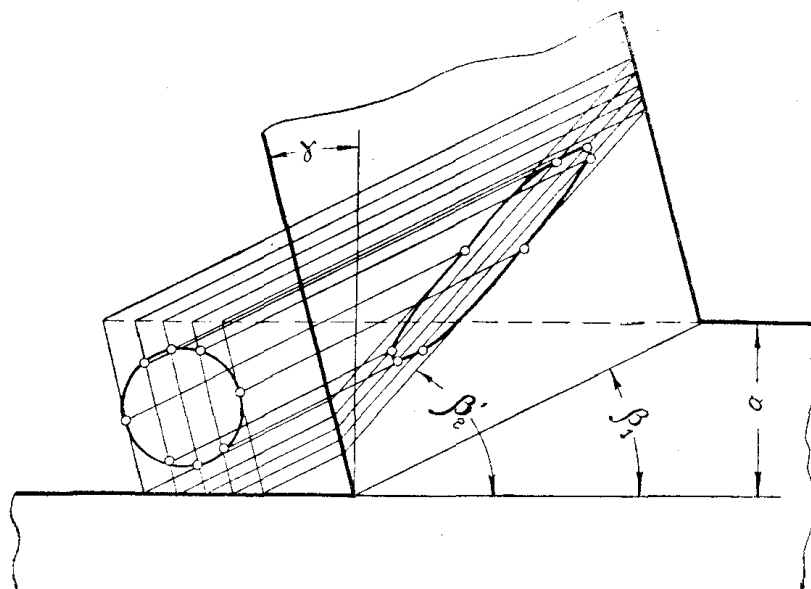


Фиг. 19



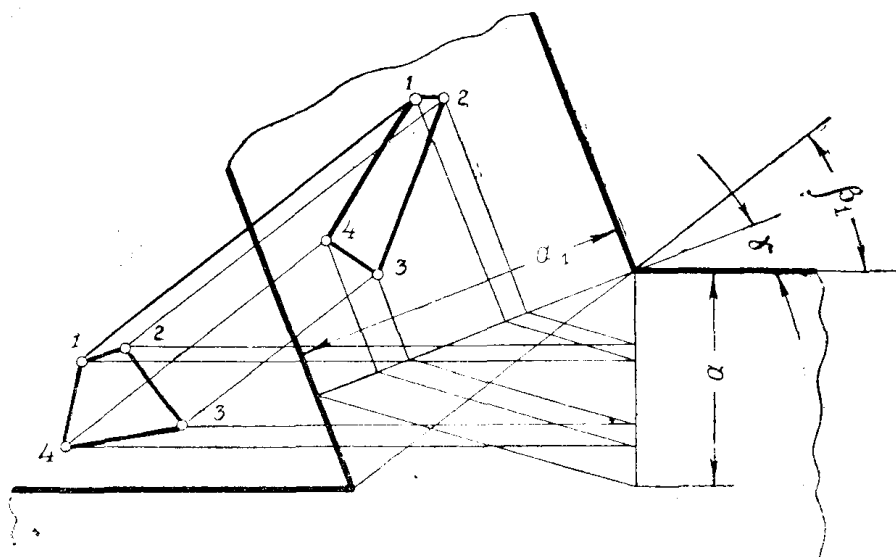
Фиг. 20

На фиг. 22 дается пример, как следует находить форму зерна до деформации, если известна форма его после деформации, передний угол резца и угол β_1 , определяющий плоскость сдвига.



Фиг. 21

Такая методика может быть применена для любых режимов резания, в том числе и для процесса резания, сопровождающегося наростообразованием, если при построении брать действительный передний угол, образуемый наростом.



Фиг. 22

Данная методика не может быть применена для зерен, находящихся весьма близко к надрезцовой стороне стружки, так как там будет иметь место дополнительная деформация в плоскости, параллельной передней грани, а также для очень больших деформаций, когда зерно в стружке получит слишком вытянутую форму.

Закключение

Двойной треугольник перемещений (фиг. 8), полученный в результате кинематического анализа процесса образования сливной стружки, позволяет просто получить аналитическое выражение для любых геометрических параметров процесса резания и их соотношений, а также определить относительное расположение в стружке любой материальной точки снимаемого слоя.

На основании проведенного кинематического анализа процесса образования сливной стружки показано, что при условии перемещения всех точек снимаемого слоя под углом β_1 , зерно снимаемого слоя после деформации образует текстуру, направление которой составит с вектором скорости угол β_2 . Это положение полностью опровергает представление авторов учебника „Резание металлов“ [9] о том, что „пластическая деформация материала внутри самого элемента сопровождается скольжением отдельных слоев пластически деформированного материала под некоторым углом θ_1 “ (в нашем обозначении β_2). Такого скольжения нет и угол текстуры (β_2) образуется только в результате сдвигов, происходящих под углом β_1 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Тиме И. А.—Мемуар о строгании металлов С. Петербург, 1877.
2. Клушин М. И.—Резание металлов. Машгиз, 1953.
3. Лоладзе Т. Н.—Стружкообразование при резании металлов. Машгиз, 1952.
4. Зорев Н. Н.—Исследование элементов механики процесса резания. Машгиз, 1952.
5. Розенберг А. М. и Еремин А. Н.—Теоретическое уравнение силы резания, „Вестник машиностроения“, № 8, 1953.
6. Розенберг А. М. и Еремин А. Н.—Строение стружки при резании пластического металла. Известия Томского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института имени С. М. Кирова, том. 75, Томск, 1954.
7. Усачев Я. Г.—Явления, происходящие при резании металлов. Известия Петроградского политехнического института, 1915.
8. Кузюшин В. В.—Измерение пластической деформации при резании металлов. Вопросы теории обработки металлов резанием, Машгиз, 1954.
9. Грановский Г. И., Грудов П. П., Кривоухов В. А., Ларин М. Н., Малкин А. Я.—Резание металлов, Машгиз, 1954.